

Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Labu Kuning dan Temperatur terhadap Laju Korosi Aluminium dalam Media Air Laut

Syarif Hidayatullah¹

Universitas Mataram

Suteja²

Universitas Mataram

Alamat : Jl. Majapahit No. 62 Gomong, Mataram, Indonesia.

Korespondensi Penulis: syarift008@gmail.com

Abstract. Corrosion of aluminum in seawater environments is a serious problem that can reduce the material's service life. Although various natural inhibitors have been developed as environmentally friendly alternatives, studies on the use of pumpkin extract as a corrosion inhibitor for aluminum in seawater, particularly with regard to the effect of temperature, remain limited. This study aims to analyze the effects of the concentration of pumpkin extract inhibitor and temperature on the corrosion rate of aluminum using the weight loss method. The inhibitor concentrations tested were 0 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, and 3000 ppm, with temperatures of 27°C, 35°C, and 45°C during a 24-hour immersion period. The results showed that increasing the inhibitor concentration significantly reduced the corrosion rate, with an optimum value at 3000 ppm yielding a corrosion rate of 0.448 mm/year and an inhibition efficiency of 74.06%. Conversely, increasing the temperature caused an increase in the corrosion rate and a decrease in inhibitor efficiency. Analysis of activation parameters showed that the addition of the inhibitor increased the activation energy (E_a) from 17.075 kJ/mol to 28.432 kJ/mol, indicating that the corrosion process became more difficult to occur. Overall, the pumpkin extract proved effective as an environmentally friendly corrosion inhibitor that works through adsorption and the formation of a protective layer on the metal surface.

Keywords: Aluminum corrosion, pumpkin extract inhibitor, corrosion rate, weight loss, temperature

Abstrak. Korosi pada aluminium dalam lingkungan air laut merupakan permasalahan serius yang dapat menurunkan umur pakai material. Berbagai inhibitor alami telah dikembangkan sebagai alternatif ramah lingkungan, tetapi kajian mengenai penggunaan ekstrak labu kuning sebagai inhibitor korosi aluminium dalam media air laut, terutama dengan mempertimbangkan pengaruh temperatur, masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi inhibitor ekstrak labu kuning dan temperatur terhadap laju korosi aluminium menggunakan metode *weight loss*. Variasi konsentrasi inhibitor yang digunakan adalah 0 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, dan 3000 ppm, dengan variasi temperatur 27°C, 35°C, dan 45°C selama waktu perendaman 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi inhibitor secara signifikan

Received April 12, 2026; Revised Juni 3, 2026; Accepted Juni 15, 2026

*Corresponding author, syarift008@gmail.com

menurunkan laju korosi, dengan nilai optimum pada 3000 ppm yang menghasilkan laju korosi sebesar 0,448 mm/year dan efisiensi inhibisi sebesar 74,06%. Sebaliknya, peningkatan temperatur menyebabkan kenaikan laju korosi dan penurunan efisiensi inhibitor. Analisis parameter aktivasi menunjukkan bahwa penambahan inhibitor meningkatkan energi aktivasi (E_a) dari 17,075 kJ/mol menjadi 28,432 kJ/mol, yang mengindikasikan bahwa proses korosi menjadi lebih sulit terjadi. Secara keseluruhan, ekstrak labu kuning terbukti efektif sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan yang bekerja melalui mekanisme adsorpsi dan pembentukan lapisan pelindung pada permukaan logam.

Kata Kunci : Korosi aluminium, inhibitor ekstrak labu kuning, laju korosi, *weight loss*, temperatur

PENDAHULUAN

Korosi merupakan fenomena degradasi material logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan yang bersifat agresif, yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan mekanik dan umur pakai material. Dalam industri, khususnya pada sistem perpipaan seperti Aluminium yang digunakan pada sektor perminyakan dan kelautan, korosi menjadi permasalahan serius karena lingkungan air laut mengandung ion klorida yang bersifat sangat korosif. Oleh karena itu, pengendalian korosi menjadi aspek penting dalam menjaga keandalan dan keselamatan sistem industri. Salah satu metode yang efektif untuk menghambat korosi adalah penggunaan inhibitor, khususnya inhibitor organik berbasis bahan alami yang lebih ramah lingkungan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa inhibitor organik mampu menurunkan laju korosi melalui mekanisme adsorpsi pada permukaan logam dan pembentukan lapisan pelindung. Studi pada logam aluminium dalam media asam sulfat menunjukkan bahwa inhibitor organik, termasuk ekstrak tumbuhan, mampu membentuk film protektif melalui mekanisme fisisorpsi maupun kemisorpsi, sehingga menurunkan laju korosi secara signifikan (Golshani *et al.*, 2021; Huong *et al.*, 2024; Ortega-Ramírez *et al.*, 2021; Rathidevi *et al.*, 2019). Hal ini mengindikasikan bahwa pendekatan berbasis inhibitor alami memiliki potensi besar untuk diaplikasikan pada berbagai jenis logam dan lingkungan korosif.

Tingginya laju korosi pada aluminium dalam media air laut dapat menyebabkan kerusakan material secara cepat. Selain itu, penggunaan inhibitor sintetis yang umum digunakan cenderung memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan. Sebagai solusi, penelitian ini mengusulkan penggunaan inhibitor organik berbasis ekstrak labu kuning yang mengandung senyawa aktif seperti tanin dan flavonoid. Senyawa

tersebut diketahui memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan permukaan logam melalui pembentukan kompleks dan adsorpsi, sehingga dapat menghambat proses korosi. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa inhibitor organik, termasuk turunan senyawa heteroatom dan ekstrak alami, mampu meningkatkan resistansi transfer muatan serta menurunkan densitas arus korosi melalui pembentukan lapisan pelindung pada permukaan logam (Acila *et al.*, 2025; Ajayi & Lyon, 2023; Yu *et al.*, 2012).

Penelitian terkait inhibitor korosi telah banyak dilakukan, khususnya pada logam dalam media asam. Berbagai studi menunjukkan bahwa inhibitor organik bekerja melalui mekanisme adsorpsi yang menghasilkan peningkatan ketahanan korosi melalui pembentukan film protektif pada permukaan logam (Golshani *et al.*, 2021; Rathidevi *et al.*, 2019). Inhibitor berbasis ekstrak tumbuhan seperti thyme, yerba mate, dan mimosa juga dilaporkan memiliki efisiensi inhibisi yang tinggi karena kemampuan membentuk lapisan pelindung yang stabil (Jin *et al.*, 2024; Ortega-Ramírez *et al.*, 2021). Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa kombinasi metode eksperimental seperti *weight loss*, *potentiodynamic polarization*, dan *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS) secara konsisten membuktikan efektivitas inhibitor organik dalam menurunkan laju korosi melalui penurunan nilai arus korosi (*icorr*) dan peningkatan resistansi permukaan (Ahmed & Sherif, 2022; Njoku *et al.*, 2023). Bahkan, pendekatan berbasis inhibitor ramah lingkungan dapat mencapai efisiensi inhibisi hingga 80% pada kondisi optimal (Kamarska, 2023; Muhajirin *et al.*, 2023).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih berfokus pada penggunaan inhibitor organik dalam media asam atau pada ekstrak tumbuhan tertentu selain labu kuning. Kajian mengenai pemanfaatan ekstrak labu kuning sebagai inhibitor korosi aluminium dalam media air laut masih terbatas. Selain itu, pengaruh kombinasi antara konsentrasi inhibitor dan temperatur perendaman terhadap laju korosi serta efektivitas inhibisi aluminium belum banyak dievaluasi secara sistematis. Kesenjangan ini penting untuk dikaji karena air laut dan perubahan temperatur merupakan kondisi yang umum dijumpai pada aplikasi kelautan dan industri, serta dapat memengaruhi kestabilan adsorpsi inhibitor dan pembentukan lapisan pelindung pada permukaan logam.

Dengan demikian, kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi ekstrak labu kuning sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan untuk aluminium dalam media air laut dengan mempertimbangkan pengaruh konsentrasi inhibitor dan temperatur secara

bersamaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi inhibitor ekstrak labu kuning dan variasi temperatur terhadap laju korosi aluminium dalam media air laut menggunakan metode weight loss. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan inhibitor korosi alami yang lebih ramah lingkungan untuk perlindungan aluminium pada lingkungan yang mengandung ion klorida.

METODE

Materials

Material utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aluminium pasaran dengan dimensi spesimen 20 mm × 20 mm × 5 mm dan densitas sebesar 2.7 g/cm³. Media korosif yang digunakan adalah air laut, sedangkan inhibitor yang digunakan berupa ekstrak Labu kuning dengan variasi konsentrasi 0 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, dan 3000 ppm. Bahan pendukung lainnya meliputi aquades untuk pencucian spesimen serta larutan NaCl 5% sebagai simulasi media korosif dari air laut.

Sample Preparation

Spesimen Aluminium dipotong menggunakan mesin pemotong hingga mencapai dimensi yang telah ditentukan. Permukaan spesimen kemudian dibersihkan dari kotoran, minyak, dan kontaminan lain, serta diampelas menggunakan kertas gosok ukuran 500 dan 1000 mesh hingga diperoleh permukaan yang halus dan homogen. Setelah itu, spesimen dicuci menggunakan aquades dan dikeringkan sebelum dilakukan penimbangan awal. Ekstrak labu kuning disiapkan melalui proses pengeringan, penghalusan, dan ekstraksi menggunakan pelarut etanol 96% pada suhu 50°C selama 150 menit, kemudian dilakukan pemisahan dan penguapan pelarut hingga diperoleh senyawa tanin sebagai inhibitor.

Experimental Set-up

Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental nyata (*true experimental research*) dengan variasi konsentrasi inhibitor dan suhu. Spesimen yang telah dipersiapkan ditimbang untuk memperoleh berat awal, kemudian direndam dalam larutan air laut yang telah ditambahkan inhibitor sesuai variasi konsentrasi. Waktu perendaman dilakukan selama 24 jam dengan suhu yang berbeda dan dikontrol. Setelah proses perendaman, spesimen diambil, dibersihkan menggunakan aquades, dikeringkan, dan

ditimbang kembali untuk mendapatkan berat akhir. Laju korosi dihitung menggunakan metode kehilangan berat (*weight loss*) dengan persamaan (Du et al., 2023):

$$CR = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad (1)$$

di mana CR adalah laju korosi, K adalah konstanta ($3,45 \times 10^6$), W adalah kehilangan berat, A adalah luas permukaan, T adalah waktu perendaman, dan D adalah densitas material.

Parameters

Parameter utama yang diukur dalam penelitian ini adalah laju korosi yang dihitung berdasarkan selisih berat spesimen sebelum dan sesudah perendaman. Parameter tambahan meliputi efisiensi inhibitor yang dihitung berdasarkan perbandingan laju korosi tanpa inhibitor dan dengan inhibitor.

Statistical Analysis

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai laju korosi dan efisiensi inhibitor pada setiap variasi konsentrasi dan suhu. Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengidentifikasi tren hubungan antar variabel. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan perubahan nilai laju korosi dan menentukan kondisi optimum berdasarkan nilai laju korosi terendah serta efisiensi inhibitor tertinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Weight Loss Measurement

Berdasarkan Tabel 1, penambahan inhibitor secara nyata menurunkan kehilangan berat dan laju korosi baja pada waktu pengujian 24 jam. Pada sampel tanpa inhibitor, kehilangan berat mencapai 0,013 g dengan laju korosi 1.726 mm/year. Setelah inhibitor ditambahkan 1000 ppm, kehilangan berat turun menjadi 0,007 g dan laju korosi menurun menjadi 0.902 mm/year. Pada 2000 ppm, kehilangan berat kembali turun menjadi 0,004 g dengan laju korosi 0.567 mm/year. Nilai terbaik diperoleh pada 3000 ppm, yaitu kehilangan berat 0,003 g, laju korosi 0.448 mm/year, dan efisiensi inhibisi tertinggi 74,06%. Temuan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi inhibitor pada rentang yang diuji, semakin kuat kemampuan inhibitor dalam melindungi permukaan logam dari serangan media korosif.

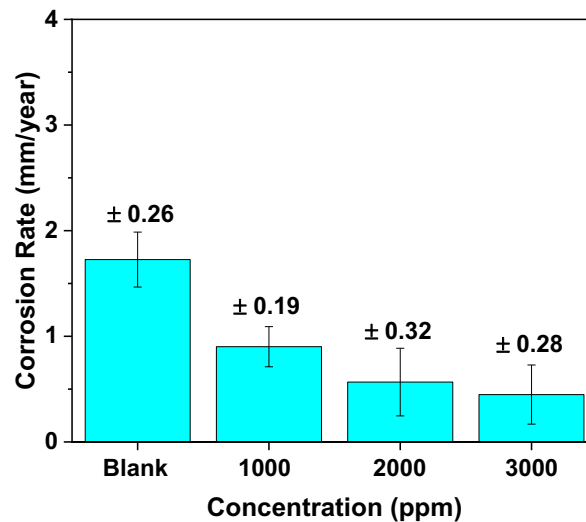
Hasil ini sejalan dengan banyak penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa inhibitor korosi mampu menurunkan *weight loss* logam secara signifikan, sedangkan kondisi tanpa inhibitor selalu menghasilkan kehilangan berat dan laju korosi yang lebih tinggi. Pola tersebut telah dilaporkan pada berbagai sistem logam dan media korosif, baik menggunakan inhibitor organik, anorganik, obat kedaluwarsa, maupun ekstrak tumbuhan (Abdel-Hameed *et al.*, 2021; Onukwuli *et al.*, 2021).

Tabel 1. Parameter pengujian *weight loss* measurement

Konsentrasi (ppm)	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	ΔW (g)	CR (mm/year)	Efisiensi (%)
0	5.248	5.235	0.013	1.726	-
1000	5.174	5.167	0.007	0.902	47.72
2000	5.296	5.292	0.004	0.567	67.15
3000	5.212	5.209	0.003	0.448	74.06

Peningkatan efisiensi inhibisi dari 47,72% pada 1000 ppm menjadi 67,15% pada 2000 ppm, lalu mencapai 74,06% pada 3000 ppm, juga konsisten dengan literatur yang menyatakan bahwa efisiensi inhibisi umumnya meningkat seiring kenaikan konsentrasi inhibitor. Kecenderungan ini banyak dijumpai pada baja karbon, aluminium, dan berbagai paduan lain dalam media asam maupun klorida, karena semakin banyak molekul inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan logam akan semakin baik pula penutupan permukaan oleh lapisan pelindung (Bhaskara *et al.*, 2021; Chowdhury *et al.*, 2023). Oleh karena itu, hasil ini menunjukkan hubungan yang jelas antara kenaikan konsentrasi inhibitor dan peningkatan kinerja proteksi.

Secara mekanistik, temuan ini juga sesuai dengan konsep bahwa inhibitor bekerja melalui adsorpsi pada antarmuka logam-larutan sehingga membentuk film protektif yang menurunkan kontak langsung antara permukaan logam dan ion korosif. Mekanisme berbasis adsorpsi seperti ini banyak dilaporkan mengikuti isoterm Langmuir, baik pada inhibitor berbasis ekstrak tumbuhan, senyawa basa Schiff, turunan ferrosena, maupun biomolekul alami. Dalam banyak kasus, adsorpsi tersebut bersifat spontan dan dapat berupa fisorpsi, kemisorpsi, atau kombinasi keduanya, tergantung sistem logam, media, dan temperatur (Borode *et al.*, 2024; Hechiche *et al.*, 2024). Dengan melihat penurunan ΔW dan CR yang terus berlangsung sampai 3000 ppm, sangat mungkin inhibitor ini juga bekerja melalui pembentukan lapisan adsorpsi yang makin rapat pada permukaan logam.



Gambar 1. Parameter laju korosi aluminium tanpa dan dengan inhibitor

Dibandingkan penelitian terdahulu, efisiensi 74,06% yang diperoleh pada 3000 ppm dapat dikategorikan baik, walaupun belum mencapai nilai sangat tinggi seperti sekitar 96% yang dilaporkan pada beberapa sistem yang lebih menguntungkan. Perbedaan ini masih wajar karena kinerja inhibitor sangat dipengaruhi oleh jenis logam, sifat media korosif, temperatur, dan kelas senyawa inhibitor yang digunakan (Nazir *et al.*, 2022).

Selain itu, beberapa studi melaporkan bahwa pada kondisi sangat oksidatif atau temperatur tinggi, efisiensi inhibitor dapat menurun karena cakupan permukaan menjadi lebih lemah dan *weight loss* kembali meningkat. Nuansa ini penting karena menunjukkan bahwa efektivitas inhibitor tidak hanya ditentukan oleh konsentrasi, tetapi juga oleh lingkungan pengujian dan stabilitas lapisan adsorpsi yang terbentuk (León-Silva *et al.*, 2025). Walaupun data pada tabel ini hanya menunjukkan satu waktu pengamatan, tren penurunan ΔW dan CR yang konsisten sampai 3000 ppm menandakan bahwa pada kondisi pengujian ini, inhibitor masih bekerja efektif dan belum menunjukkan gejala penurunan performa.

Secara keseluruhan, hasil tabel ini sangat selaras dengan laporan gravimetri sebelumnya bahwa inhibitor menurunkan *weight loss*, menurunkan corrosion rate, dan meningkatkan inhibition efficiency melalui pembentukan lapisan pelindung pada permukaan logam. Keselarasan antara data kehilangan berat dan besarnya efisiensi dalam tabel ini juga mendukung pandangan umum bahwa hasil weight-loss biasanya sejalan

dengan temuan elektrokimia pada sistem yang sama, yaitu bahwa inhibitor efektif karena menghambat reaksi pelarutan logam di permukaan (Hrimla *et al.*, 2021). Oleh sebab itu, dapat ditegaskan bahwa konsentrasi 3000 ppm merupakan kondisi terbaik pada data yang tersedia, karena memberikan laju korosi terendah dan efisiensi inhibisi tertinggi, sekaligus memperkuat bukti bahwa inhibitor bekerja melalui mekanisme proteksi permukaan yang efektif.

Pengaruh Temperatur

Berdasarkan Tabel 2, peningkatan temperatur dari 27°C hingga 45°C menyebabkan kenaikan signifikan pada kehilangan berat dan laju korosi, baik pada kondisi tanpa inhibitor maupun dengan inhibitor 3000 ppm. Pada kondisi tanpa inhibitor, laju korosi meningkat dari 1,726 mm/year pada 27°C menjadi 2,523 mm/year pada 45°C. Hal yang sama terjadi pada kondisi dengan inhibitor, di mana laju korosi meningkat dari 0,448 mm/year menjadi 1,195 mm/year. Temuan ini menunjukkan bahwa temperatur merupakan faktor dominan yang mempercepat proses korosi melalui peningkatan energi kinetik dan laju reaksi elektrokimia.

Hasil ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa peningkatan temperatur akan mempercepat proses difusi dan transfer muatan, sehingga meningkatkan laju korosi pada berbagai jenis logam dan paduan (Golgovici *et al.*, 2021). Fenomena ini juga dilaporkan pada baja, aluminium, dan paduan lainnya dalam berbagai media korosif, di mana peningkatan temperatur dapat mengubah kinetika korosi dan bahkan menurunkan energi aktivasi reaksi (Tang *et al.*, 2024). Dengan demikian, tren peningkatan laju korosi pada data tabel ini konsisten dengan teori dan hasil eksperimen sebelumnya.

Tabel 2. Parameter laju korosi dengan variasi suhu pengujian

Temperatur (°C)	Konsentrasi (ppm)	ΔW (g)	CR (mm/year)	Efisiensi (%)
27	0	0.013	1.726	-
27	3000	0.003	0.448	74.06
35	0	0.016	2.125	-
35	3000	0.006	0.797	62.49
45	0	0.019	2.523	-
45	3000	0.009	1.195	52.62

Selain itu, efisiensi inhibitor mengalami penurunan seiring peningkatan temperatur, yaitu dari 74,06% pada 27°C menjadi 52,62% pada 45°C. Penurunan ini menunjukkan bahwa kemampuan inhibitor dalam membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam menjadi kurang stabil pada temperatur yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa efisiensi inhibitor berbasis ekstrak tumbuhan cenderung menurun dengan kenaikan temperatur akibat terjadinya desorpsi molekul inhibitor dari permukaan logam atau perubahan keseimbangan adsorpsi (Fouda *et al.*, 2024). Senyawa aktif seperti tanin dan flavonoid yang berperan dalam pembentukan lapisan protektif menjadi kurang efektif karena ikatan adsorpsinya melemah pada temperatur tinggi.

Meskipun demikian, pada seluruh variasi temperatur, penggunaan inhibitor tetap menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan tanpa inhibitor. Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan adsorpsi yang terbentuk masih mampu memberikan perlindungan, meskipun tidak seefektif pada temperatur rendah. Fenomena ini juga dilaporkan pada berbagai sistem inhibitor alami, di mana perlindungan tetap signifikan namun mengalami penurunan efisiensi pada kondisi temperatur tinggi (Okewale & Omoruwu, 2018). Dalam beberapa kasus, inhibitor dengan mekanisme kemisorpsi yang kuat dapat mempertahankan efisiensi pada temperatur tinggi, tetapi hal ini sangat bergantung pada jenis senyawa dan kondisi sistem (Bacca *et al.*, 2021).

Secara keseluruhan, hasil pada tabel ini memperkuat bahwa temperatur memiliki peran penting dalam mengontrol laju korosi dan efektivitas inhibitor. Kenaikan temperatur mempercepat degradasi material sekaligus menurunkan efisiensi inhibitor akibat berkurangnya kestabilan lapisan adsorpsi. Oleh karena itu, dalam aplikasi praktis seperti industri minyak dan gas atau lingkungan laut, pemilihan inhibitor perlu mempertimbangkan kondisi temperatur operasi agar perlindungan terhadap korosi tetap optimal.

Berdasarkan Tabel 3, penambahan inhibitor 3000 ppm meningkatkan energi aktivasi (E_a) dari 17,075 kJ/mol menjadi 28,432 kJ/mol. Kenaikan ini menunjukkan bahwa proses korosi aluminium dalam larutan H₂SO₄ 5% menjadi lebih sulit berlangsung ketika inhibitor ditambahkan. Dengan kata lain, permukaan logam mengalami hambatan energi yang lebih besar sehingga pelarutan anodik dan reaksi evolusi hidrogen berjalan lebih lambat. Temuan ini juga diikuti oleh kenaikan nilai ΔH dari 14,581 kJ/mol menjadi

25,938 kJ/mol, yang menunjukkan bahwa proses aktivasi korosi memerlukan energi lebih tinggi pada sistem terinhibisi.

Tabel 3. Parameter aktivasi untuk aluminium dalam larutan H₂SO₄ 5% dengan variasi inhibitor 0 dan 3000 ppm

Konsentrasi (ppm)	E _a (kJ/mol)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (J/mol·K)
0	17.075	14.581	-189
3000	28.432	25.938	-152

Nilai ΔS tetap negatif pada kedua kondisi, yaitu -189 J/mol·K tanpa inhibitor dan -152 J/mol·K dengan inhibitor. Nilai negatif ini menunjukkan bahwa keadaan transisi yang terbentuk selama proses korosi bersifat lebih teratur dibandingkan keadaan awal. Namun, perubahan ΔS menjadi kurang negatif setelah penambahan inhibitor mengindikasikan bahwa adsorpsi inhibitor pada permukaan aluminium mengubah susunan antarmuka logam-larutan dan memodifikasi mekanisme reaksi korosi. Secara umum, kombinasi kenaikan E_a dan ΔH serta perubahan ΔS ini mendukung bahwa inhibitor bekerja melalui pembentukan lapisan pelindung teradsorpsi pada permukaan logam.

Hasil ini sejalan dengan ringkasan literatur yang menyatakan bahwa pada media asam, termasuk lingkungan H₂SO₄, aluminium mengalami pelarutan yang dikendalikan oleh proses aktivasi, dan keberadaan inhibitor dapat memodifikasi kinetika reaksi melalui mekanisme adsorpsi. Sistem tanpa inhibitor umumnya menunjukkan laju korosi lebih tinggi dan nilai E_a lebih rendah karena transfer muatan dan pelarutan permukaan berlangsung tanpa hambatan, sedangkan sistem dengan inhibitor menunjukkan E_a lebih tinggi akibat terbentuknya penghalang pada permukaan logam. Dengan demikian, data pada tabel ini konsisten dengan pola umum bahwa kondisi 0 ppm mencerminkan pelarutan aluminium yang tidak terhambat, sedangkan kondisi 3000 ppm menunjukkan permukaan yang lebih terlindungi.

Dibandingkan penelitian sebelumnya, peningkatan E_a pada sistem terinhibisi dalam tabel ini sangat sesuai dengan laporan bahwa inhibitor organik maupun inhibitor alami pada aluminium dalam media asam sering meningkatkan energi aktivasi korosi karena lapisan adsorpsi yang terbentuk menghambat tahapan transfer muatan. Studi pada inhibitor polimerik, inhibitor organik, maupun ekstrak alami menunjukkan bahwa pembentukan film pelindung dapat menggeser jalur reaksi atau membuat tahap penentu

laju menjadi lebih membutuhkan energi (Ugi & Nandi, 2022). Kecenderungan serupa juga dilaporkan pada ionic liquids dan inhibitor terfungsionalisasi dalam media sulfat, yang menunjukkan peningkatan E_a dan efisiensi inhibisi yang tinggi sebagai konsekuensi dari proses proteksi berbasis adsorpsi (Wu *et al.*, 2024).

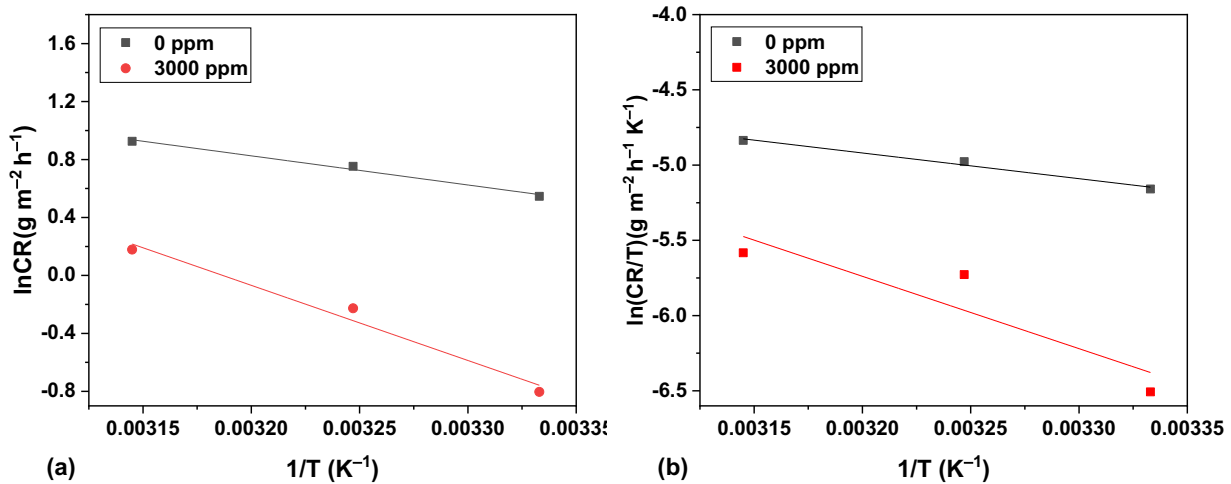
Selain itu, hasil ini juga mendukung pandangan bahwa adsorpsi inhibitor pada permukaan aluminium sering mengikuti perilaku isotherm Langmuir dan berkaitan dengan meningkatnya hambatan transfer muatan. Literatur menunjukkan bahwa ekstrak alami seperti thyme extract pada media asam mampu membentuk lapisan protektif yang efektif pada permukaan logam, sehingga meningkatkan penghalang energi terhadap pelarutan logam dan reaksi evolusi hidrogen (Golshani *et al.*, 2021). Dalam konteks tabel ini, kenaikan E_a dan ΔH pada 3000 ppm dapat ditafsirkan sebagai bukti bahwa lapisan adsorpsi inhibitor cukup stabil untuk menahan serangan media asam.

Namun demikian, literatur juga menekankan bahwa nilai numerik parameter aktivasi sangat sensitif terhadap jenis inhibitor, rentang temperatur, konsentrasi asam, kondisi preparasi permukaan, dan metode pengukuran. Karena itu, walaupun tren kualitatif pada data ini sangat konsisten dengan penelitian sebelumnya, besar nilai E_a , ΔH , dan ΔS tidak harus sama dengan sistem lain. Variasi tersebut merupakan hal yang normal karena tiap kelas inhibitor dapat menunjukkan kombinasi fisorpsi dan kemisorpsi yang berbeda, sehingga menghasilkan parameter aktivasi yang khas untuk setiap sistem (Ugi & Nandi, 2022).

Secara keseluruhan, hasil pada Tabel 3 menunjukkan bahwa inhibitor 3000 ppm efektif meningkatkan hambatan energi reaksi korosi aluminium dalam larutan H_2SO_4 5%. Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa adsorpsi inhibitor pada permukaan aluminium dalam media asam meningkatkan E_a , memperbesar hambatan transfer muatan, dan menstabilkan permukaan logam terhadap pelarutan. Oleh karena itu, untuk penulisan artikel ilmiah dapat dinyatakan bahwa penambahan inhibitor 3000 ppm memperlambat kinetika korosi melalui pembentukan lapisan adsorpsi pelindung, dan hasil ini konsisten dengan mekanisme inhibisi yang telah dilaporkan pada berbagai sistem aluminium-media asam (Ugi & Nandi, 2022).

Berdasarkan Gambar 2(a), plot Arrhenius menunjukkan hubungan linier antara $\ln(CR)$ terhadap $1/T$ baik pada kondisi tanpa inhibitor maupun dengan inhibitor 3000 ppm. Linearitas ini menegaskan bahwa proses korosi mengikuti kinetika Arrhenius dan energi aktivasi (E_a) dapat ditentukan dari kemiringan garis. Garis pada kondisi dengan

inhibitor memiliki kemiringan yang lebih besar, yang menunjukkan peningkatan nilai E_a dibandingkan sistem tanpa inhibitor. Selain itu, nilai $\ln(CR)$ pada kondisi dengan inhibitor lebih rendah pada seluruh temperatur, yang menunjukkan bahwa laju korosi menurun secara signifikan akibat penambahan inhibitor.



Gambar 2. (a) plot arhenius (b) plot dari $\ln(CR/T)$ vs $1/T$

Hasil ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa plot Arrhenius pada sistem korosi umumnya menghasilkan hubungan linier, baik pada kondisi tanpa inhibitor maupun dengan inhibitor, sehingga valid untuk digunakan dalam menentukan parameter kinetika seperti energi aktivasi (Kadhim *et al.*, 2022). Peningkatan kemiringan garis pada sistem terinhibisi juga sesuai dengan laporan bahwa keberadaan inhibitor meningkatkan E_a akibat terbentuknya lapisan adsorpsi yang menghambat kinetika reaksi korosi (Jayanthi *et al.*, 2011).

Pada Gambar 2(b), plot $\ln(CR/T)$ terhadap $1/T$ juga menunjukkan hubungan linier untuk kedua kondisi. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis teori keadaan transisi (*transition-state theory*) dapat digunakan untuk menganalisis parameter termodinamika seperti ΔH dan ΔS . Garis pada kondisi dengan inhibitor memiliki kemiringan yang lebih besar dan posisi yang lebih rendah, yang mengindikasikan peningkatan ΔH serta perubahan nilai ΔS dibandingkan sistem tanpa inhibitor.

Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan plot $\ln(CR/T)$ vs $1/T$ untuk memperoleh parameter aktivasi dan menunjukkan bahwa sistem dengan inhibitor menghasilkan garis linier dengan perubahan kemiringan dan intercept

yang mencerminkan perubahan energi aktivasi dan sifat entropi sistem (Foda *et al.*, 2019). Pendekatan ini banyak digunakan untuk membandingkan sistem terinhibisi dan tanpa inhibitor pada berbagai temperatur, serta untuk memahami mekanisme inhibisi berbasis adsorpsi.

Secara keseluruhan, kedua grafik menunjukkan bahwa penambahan inhibitor 3000 ppm meningkatkan energi aktivasi dan mengubah parameter termodinamika proses korosi, sehingga reaksi korosi menjadi lebih sulit terjadi. Hasil ini memperkuat bahwa inhibitor bekerja melalui mekanisme adsorpsi yang membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam, serta konsisten dengan berbagai penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa inhibitor meningkatkan E_a dan menghambat kinetika korosi melalui perubahan jalur reaksi dan hambatan transfer muatan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan inhibitor ekstrak labu kuning mampu menurunkan laju korosi aluminium dalam media air laut. Konsentrasi 3000 ppm memberikan hasil terbaik dengan laju korosi terendah sebesar 0,448 mm/year dan efisiensi inhibisi tertinggi sebesar 74,06%. Peningkatan temperatur dari 27°C hingga 45°C menyebabkan laju korosi meningkat dan efisiensi inhibitor menurun. Penelitian ini menunjukkan bahwa ekstrak labu kuning berpotensi digunakan sebagai *green inhibitor* untuk menghambat korosi aluminium. Peningkatan energi aktivasi (E_a) dari 17,075 kJ/mol menjadi 28,432 kJ/mol mengindikasikan bahwa inhibitor bekerja melalui mekanisme adsorpsi dan pembentukan lapisan pelindung pada permukaan logam. Temuan ini dapat menjadi dasar pengembangan inhibitor korosi alami untuk perlindungan aluminium pada lingkungan air laut. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian dengan waktu perendaman yang lebih panjang, pengulangan eksperimen untuk memperoleh standar deviasi, serta karakterisasi permukaan seperti SEM, FTIR, atau EIS untuk memperkuat analisis mekanisme inhibisi.

DAFTAR REFERENSI

Abdel-Hameed, R., Essa, A., Mohamed, D., Abdallah, M., Aljohani, M. M., Al-Mhyawi, S. R., Soluman, M., & Arafa, E. (2021). Evaluation of expired augmentine drugs as corrosion inhibitor for carbon steel alloy in 1.0 n hcl acidic environment using analytical techniques. *Egyptian Journal of Chemistry*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2021.95853.4495>

- Acila, M., Harrouche, K., Chemchem, M., & Bensabra, H. (2025). Corrosion Inhibition of Aluminum Alloy by 2-Aminobenzothiazole Derivatives: A Combined Experimental and Theoretical Study. *Chemistryselect*, 10(14). <https://doi.org/10.1002/slct.202405867>
- Ahmed, A. H., & Sherif, E. M. (2022). Methylenedisalicyclic Acid as a Biocorrosion Inhibitor for Aluminum in Concentrated Sodium Chloride Solutions. *Acs Omega*, 7(23), 19193–19203. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c00194>
- Ajayi, F., & Lyon, S. B. (2023). Mitigation of Top- and Bottom-of-the-line CO₂ Corrosion in the Presence of Acetic Acid (II): Inhibition Using Azole Derivatives. *Materials and Corrosion*, 74(8), 1208–1216. <https://doi.org/10.1002/maco.202313773>
- Bacca, K. R. G., Lopes, N. F., & Costa, E. M. d. (2021). Inhibition of Corrosion of API K55 Steel by Tannin From Acacia Mearnsii Bark in Highly Acidic Medium. *Materials and Corrosion*, 73(4), 613–622. <https://doi.org/10.1002/maco.202112744>
- Bhaskara, S., Fakrudeen, S. P., Desalegn, T., Murthy, H. C. A., & Bheemaraju, V. (2021). Evaluation of Corrosion Inhibition Efficiency of Aluminum Alloy 2024 by Diaminostilbene and Azobenzene Schiff Bases in 1 M Hydrochloric Acid. *International Journal of Corrosion*, 2021, 1–20. <https://doi.org/10.1155/2021/5869915>
- Borode, A., Ahmed, N. A., & Olubambi, P. A. (2024). Effects of Surfactants on the Corrosion Behavior of Aluminum Alloy in Graphene Nanofluid. *Solid State Phenomena*, 355, 35–48. <https://doi.org/10.4028/p-7hmnpl>
- Chowdhury, M. A., Hossain, N., Ahmed, M. M. S., Islam, M. A., Islam, S., & Rana, M. M. (2023). Green tea and tulsi extracts as efficient green corrosion inhibitor for aluminum alloy in alkaline medium. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16504>
- Du, P., Deng, S., Du, G., Shao, D., Xu, D., & Li, X. (2023). Synergistic inhibition effect of Mikania micrantha extract with potassium iodide on the corrosion of cold rolled steel in methanesulfonic acid solution. *Corrosion Science*, 220, 111296. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2023.111296>
- Foda, A., Mosallam, H., El-Khateeb, A., & Fakh, M. (2019). Cinnamomum Zeylanicum Extract as Green Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solutions. *Progress in Chemical and Biochemical Research*, 2(3), 120–133. <https://doi.org/10.33945/sami/pcbr.2019.2.5>
- Fouda, A. S., Nageeb, M., Gaber, G. A., Ahmed, A. S. I., El-Hossiany, A., & Atia, M. F. (2024). Carob Fruit Extract as Naturally Products Corrosion Inhibitor for Copper-

Nickel Alloys in Brine Solutions. *Scientific Reports*, 14(1).
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-80589-7>

Golgovici, F., Prodana, M., Ionascu, F. G., & Demetrescu, I. (2021). A Comparative Electrochemical and Morphological Investigation on the Behavior of NiCr and CoCr Dental Alloys at Various Temperatures. *Metals*, 11(2), 256.
<https://doi.org/10.3390/met11020256>

Golshani, Z., Moezabad, H. C., Amiri, M., Sajadi, G. S., Naghizade, R., & Hosseini, S. M. A. (2021). Effect of Thyme Extract as an Ecofriendly Inhibitor for Corrosion of Mild Steel in Acidic Media. *Materials and Corrosion*, 73(3), 460–469.
<https://doi.org/10.1002/maco.202112769>

Hechiche, N., Culioli, G., Kadri, A., Boughrara, D., Saal, A., & Perrin, F. (2024). Impact of Aqueous Extract Artemisia Herba-Alba Leaves as a Green Inhibitor Against Acid Activation of 2024 Aluminum Alloy. *International Journal of Chemical Engineering*, 2024(1). <https://doi.org/10.1155/2024/5432109>

Hrimla, M., Bahsis, L., Laamari, M. R., Julve, M., & Stiriba, S. (2021). An Overview on the Performance of 1,2,3-Triazole Derivatives as Corrosion Inhibitors for Metal Surfaces. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(1), 16.
<https://doi.org/10.3390/ijms23010016>

Huong, D. Q., Linh, N. L. M., Thang, L. Q., & Quang, D. T. (2024). Corrosion Inhibition Ability of Tryptophan and 5-HydroxyTryptophan for Mild Steel: A Combination of Experimental and Theoretical Methods. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 26(32), 21712–21726. <https://doi.org/10.1039/d4cp02181a>

Jayanthi, K., Sivaraju, M., & Kannan, K. (2011). Inhibiting Properties of Morpholine as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 2N Sulphuric Acid and Phosphoric Acid Medium. *Journal of Chemistry*, 9(4), 2213–2225.
<https://doi.org/10.1155/2012/904353>

Jin, C., Xu, T., Hu, J., Ding, C., Geng, Z., Li, X., Dong, J., & Liu, H. (2024). Progress in Corrosion Research on Alternative Liquid Fuels. *Energies*, 17(12), 2803.
<https://doi.org/10.3390/en17122803>

Kadhim, N. J., Sando, M. S., Jaafar, F. S., & Hasan, I. M. . . (2022). Synthesis, Characterization, and Investigation the Inhibitory Impact of Thiosemicarbazide Derivative Toward the Corrosion of Mild Steel in Acidic Media. *Baghdad Science Journal*, 19(6), 1305. <https://doi.org/10.21123/bsj.2022.6619>

Kamarska, K. (2023). Citric Acid as an Eco-Friendly Inhibitor for Aluminum Alloy EN AW-2024 Corrosion in Acidic Medium. *Journal of Ecological Engineering*, 24(1), 307–311. <https://doi.org/10.12911/22998993/156096>

- León-Silva, U., Licea-Rodríguez, J., Palillero-Sandoval, O., Aguilar, P. A. M., Palacios-Talavera, A. A., Gregorio, O. L., & Cardenas-Rodríguez, J. B. (2025). Corrosion Analysis Using a Cost-Effective and Synchronized Hyperspectral Imaging System. *Engineering Research Express*, 7(3), 035429. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/ae038d>
- Muhajirin, M., Arwati, I. G. A., Hartati, S., Hakim, H., Noviyanto, A., Arramel, A., & Zakly, T. (2023). The Effect of Addition Green Inhibitor D-Galactose on Corrosion Rate of Aluminum Alloy 5052 in Sulfuric Acid (H₂SO₄) Media. *International Journal of Innovation in Mechanical Engineering and Advanced Materials*, 4(2), 30. <https://doi.org/10.22441/ijimeam.v4i2.16610>
- Nazir, U., Akhter, Z., Ali, N. Z., Hussain, R., Liaqat, F., Tahir, A., & Qamar, S. (2022). Corrosion Inhibition Studies of Ferrocenyl Schiff Bases in a Mild Acidic Medium Through Experimental Methods and DFT Calculations. *New Journal of Chemistry*, 46(8), 3925–3938. <https://doi.org/10.1039/d1nj05612c>
- Njoku, C. N., Maduoma, T. U., Emori, W., Odey, R. E., Unimke, B. M., Yakubu, E., Anorundu, C. C., Udunwa, D. I., Njoku, O. C., & Oyoh, K. B. (2023). Natural and Synthetic Drugs as Eco-Friendly and Sustainable Corrosion Inhibitors for Metals: A Review. *Pigment & Resin Technology*, 53(6), 1074–1087. <https://doi.org/10.1108/prt-07-2023-0063>
- Okewale, A., & Omoruwuo, F. (2018). Neem Leaf Extract as a Corrosion Inhibitor on Mild Steel in Acidic Solution. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 35, 208–220. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jera.35.208>
- Onukwuli, O. O., Udeh, B. C., Omotioma, M., & Nnanwube, I. A. (2021). Corrosion Inhibition of Aluminium in Hydrochloric Acid Medium Using Cimetidine as Inhibitor: Empirical and Optimization Studies. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 68(5), 385–395. <https://doi.org/10.1108/acmm-03-2021-2447>
- Ortega-Ramírez, A. T., Barrantes, L., Casallas-Martín, B. D., & Salazar, N. C. (2021). Application of Green Inhibitors for Corrosion Control in Metals. Review. *Dyna*, 88(217), 160–168. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.93871>
- Rathidevi, K., Jyothi, S., Jalajaa, D. . . , & Karthikeyan, S. (2019). A Study on Corrosion Protection of Aluminium Surface by Chlorine Substituted Piperidin-4-One in Sulfuric Acid Medium. *Rasayan Journal of Chemistry*, 12(02), 565–570. <https://doi.org/10.31788/rjc.2019.1224098>
- Tang, X., Li, L., Huang, Z., Zhou, J., Qin, Y., Zhao, S., Liu, D., Xu, Z., Zeng, J., Tang, H., & Wang, Y. (2024). Insight Into the Hot Corrosion Behavior of FeMnCrSi/TiC Coatings at 900 °C. *Metals*, 14(5), 504. <https://doi.org/10.3390/met14050504>

- Ugi, B. U., & Nandi, D. O. (2022). *Computational and Electrochemical Study of Pyrantel as Alternative Green Corrosion Inhibitor of S275JR Mild Steel and 1100-H14 Aluminum Alloys in H₂SO₄ Acidic Environment*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2260824/v1>
- Wu, X., Liao, J., Zhou, H., Yin, X., Wu, S., Wu, X., Xie, Z., & Ling, W. (2024). Revealing the Effects of Impurities Among Phosphoric Acid Electrolytes for the Stability of All-Vanadium Redox Flow Batteries. *Acs Applied Energy Materials*, 7(6), 2255–2263. <https://doi.org/10.1021/acsaem.3c02962>
- Yu, H., Huang, X., Yan, H., & Wei, D. (2012). Influence of Triethylamine Inhibitor Addition on the Sealing Process of 6063 Al Alloy. *Advanced Materials Research*, 538–541, 230–234. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.538-541.230>